

УДК 543.08

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭФФУЗИОННОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ГАЗОВ

С.Ю. Жигулин, Л.В. Илясов

Наша страна является мировым лидером по добыче топливных и попутных газов. В связи с этим измерение плотности газов, являющейся одной из основной характеристик их качества, имеет важное значение. Эта физическая величина измеряется в заводских лабораториях различных отраслей промышленности, связанных с производством, переработкой и потреблением газа, а также в лабораториях научно-исследовательских организаций.

Лабораторный контроль плотности газов в настоящее время базируется на трех принципах измерения [1–5]: пикнометрическом, поплавковом и эффузионном.

Из названных принципов измерения плотности газов по данным исследователей [2] наиболее перспективным с позиций увеличения точности измерений является эффузионный. Он основан на измерении времени истечения некоторого объема анализируемого газа через турбулентное сужающее устройство (миниатюрную диафрагму). В большинстве эффузионных анализаторов плотности (эффузиометров) объем истекающего газа определяется лаборантом путем измерения двух значений уровня затворной жидкости в напорной емкости, что определяет погрешность измерения плотности, составляющую $\pm 0,5$ %. Эффузиометры просты, не предполагают при эксплуатации высокой квалификации персонала, не требуют тщательной защиты от вибрации, а все измерения занимают 5–10 мин.

В развитии эффузионного принципа измерения плотности газов можно выделить несколько тенденций: переход от визуального определения уровня затворной жидкости к электроконтактному; предельное уменьшение объема или полное исключение затворной жидкости; переход от измерения уровня затворной жидкости к измерению давления в проточной камере после предварительного сжатия анализируемого газа; использование схем анализаторов с убывающим давлением; применение для измерения давления высокоточных пьезорезистивных преобразователей и электронных устройств обработки их сигналов.

Ниже на примерах описания конкретных схем иллюстрируются выделенные тенденции развития эффузионных анализаторов плотности газов.

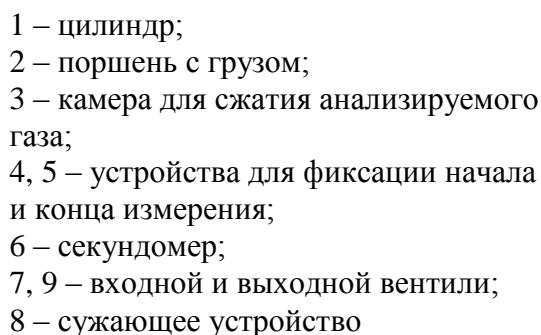
В работе [2] предложен эффузиометр, в котором значения уровней затворной жидкости в напорной емкости измеряются электроконтактным устройством, что позволяет практически исключить субъективную погрешность, вызванную работой лаборанта. В этой работе также отмечается возможность эффузиометрического измерения плотности газов с относительной погрешностью $\pm 0,01$ %.

Во всех описанных в источниках [1–5] эффузиометрах для вытеснения анализируемого газа используется затворная жидкость, что неудобно по следующим причинам. Если такой жидкостью является вода, то необходимо вводить поправки на влажность анализируемого газа и растворимость этого газа в воде. Использование ртути в качестве затворной жидкости требует специального обучения персонала и, кроме того, вредно для его здоровья. Поэтому одним из направлений

совершенствования эффузионных анализаторов плотности газов является предельно возможное уменьшение или полное исключение затворной жидкости из конструкции анализатора.

При работе с эффузионными анализаторами все операции по промывке емкостей,

Примером эффузиометра, в котором полностью отсутствует затворная жидкость, является лабораторный анализатор плотности (рис. 1) с гравитационной стабилизацией давления [6].



Работа анализаторов данного типа происходит следующим образом. Поршень вручную перемещается в верхнее положение, при этом клапаны открывают и часть емкости, расположенная под поршнем, продувается анализируемым газом. Спустя некоторое время клапаны закрывают, а на поршень устанавливают калиброванные грузы.

Под действием грузов поршень начинает двигаться вниз, и воздух истекает в атмосферу через сужающее устройство. Когда поршень достигает устройства фиксации начала измерения, запускается электронный секундомер. В момент, когда поршень достигает устройства фиксации конца измерения, электронный секундомер отключается. Отсчитанный секундомером интервал определяет время истечения постоянного объема анализируемого газа через сужающее устройство.

Все описанные операции повторяются с использованием осушенного воздуха, а плотность анализируемого газа определяется по формуле:

$$\rho_a = \rho_B \cdot \left(\frac{\tilde{\tau}_a}{\tilde{\tau}_B} \right)^2,$$

где ρ_a, ρ_b – плотности анализируемого газа и воздуха в нормальных условиях;
 τ_a, τ_b – время истечения анализируемого газа и воздуха соответственно.

Анализатор плотности газов с гравитационной стабилизацией давления позволяет получить информацию с погрешностью меньше $\pm 0,5\%$ при времени одного анализа, не превышающем 10 мин.

Примером эффузионного анализатора с минимальным количеством затворной жидкости, используемого только в миниатюрном ртутном двухтрубном манометре, может служить описанный в [7] прибор, схема которого показана на рис. 2. В таком анализаторе перед началом измерения открываются вентили и при отсутствии груза происходит промывка измерительной трубки манометра, диафрагмы и внутренней полости сильфонной коробки анализируемым газом. После закрытия вентилей на дне сильфона размещают груз. Под действием груза дно сильфона перемещается вниз, а

давление во внутренней полости сиффона увеличивается. При этом уровень затворной части жидкости в измерительной трубке манометра падает, а во вспомогательной трубке – поднимается. За счет избыточного давления во внутренней полости сиффона через диафрагму в атмосферу начинает истекать анализируемый газ, при этом уровень затворной жидкости в измерительной трубке манометра постепенно растет, то есть давление в емкости для сжатия газа уменьшается. Когда его значение достигает устройства фиксации начала измерения, электронный секундомер включает отсчет времени. Когда уровень жидкости достигает устройства фиксации конца измерений, отсчет времени прекращается. Плотность газа определяется как функция времени, измеренного секундомером. Для увеличения точности измерения дополнительно осуществляется анализ плотности осушенного воздуха. Относительная погрешность измерения плотности составляет $\pm 0,5\%$.

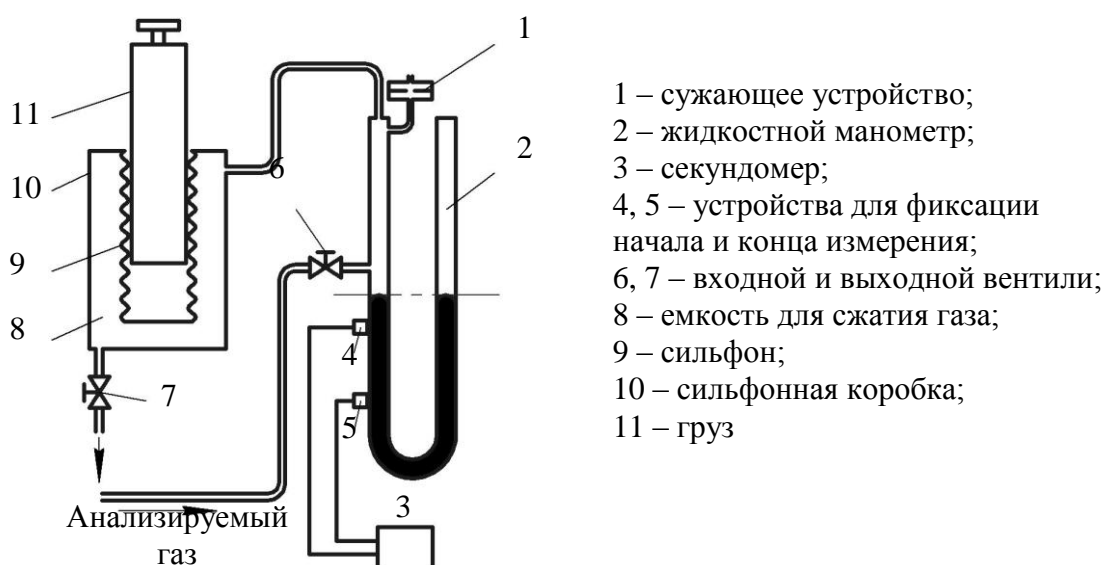


Рис. 2. Схема эффузионного анализатора плотности газов с убывающим давлением

Принцип эффузионного измерения плотности газов с убывающим давлением, изложенный в [7], получил развитие в работе [8], где описан эффузионный анализатор плотности с электроконтактным манометром, применение которого позволяет полностью исключить использование затворной жидкости (рис. 3). В таком анализаторе в режиме подготовки к измерению вентиль открывается. При этом электроконтактный манометр, камера для сжатия газа, устройство для сжатия газа, система соединительных трубок и сужающее устройство промываются анализируемым газом. Спустя некоторое время вентиль закрывается, и с помощью устройства для сжатия газа в камере для сжатия газа создается избыточное давление, которое передается на электроконтактный манометр, вызывая замыкание электрической цепи. Одновременно с этим анализируемый газ начинает истекать через сужающее устройство. В моменты

времени, когда давление в камере для сжатия газа достигает определенных максимального и минимального значений, происходит соответственно размыкание одного контакта электроманометра и замыкание другого. Время между размыканием и замыканием контактов является функцией плотности анализируемого газа. Измерение плотности газа с помощью такого анализатора также осуществляется с использованием в качестве эталонного газа осушенного воздуха. Относительная погрешность измерений составляет $\pm 0,2-0,3\%$.

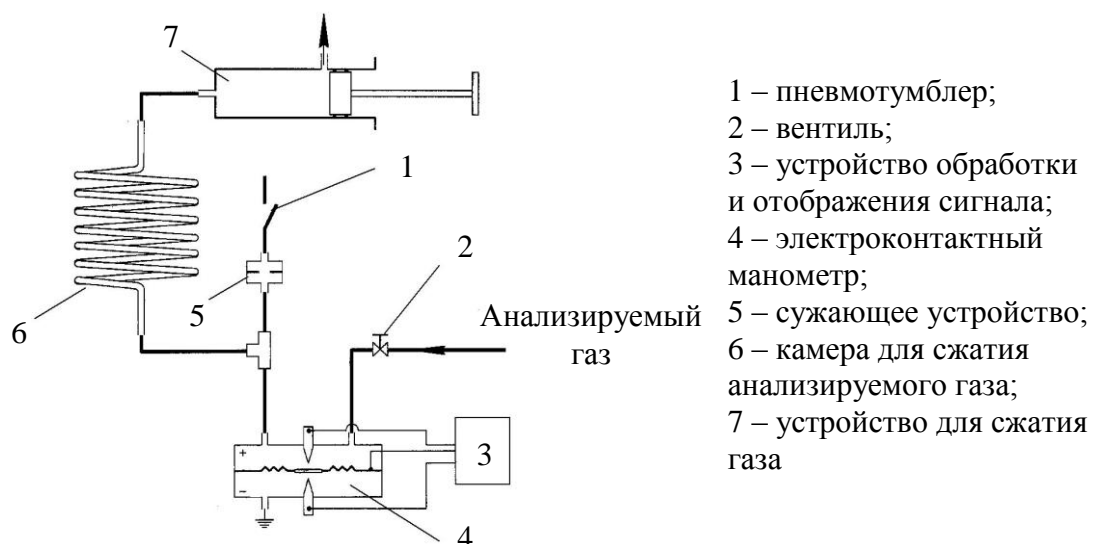


Рис. 3. Схема эффузионного анализатора плотности газов с электроконтактным манометром

Развитие современных средств измерения давления, в частности появление широкого ассортимента пьезорезистивных высокоточных преобразователей давления [9], позволяет рассмотреть возможность создания высокоточных автоматических эффузионных лабораторных анализаторов плотности газов. Пьезорезистивные преобразователи давления могут применяться в эффузионных анализаторах плотности газов в емкости для сжатия анализируемого газа и выработки унифицированного электрического сигнала, который удобно использовать для преобразования и обработки.

Схема эффузионного автоматического лабораторного анализатора плотности газов, разработанная на кафедре «Автоматизация технологических процессов» Тверского государственного технического университета, показана на рис. 4.

Этот лабораторный анализатор плотности газов работает следующим образом. В режиме «Подготовка» открывается вентиль, и анализируемый газ начинает поступать в атмосферу, промывая измерительную камеру преобразователя давления, камеру для сжатия газа, устройство для сжатия газа, а также турбулентное сужающее устройство. Затем турбулентное сужающее устройство отключается от атмосферы с помощью пневмотумблера, а избыток анализируемого газа истекает в атмосферу через устройство для сжатия газа. После приведения в действие устройства для сжатия газа газ сжимается до некоторого постоянного давления. Сужающее устройство сообщается с атмосферой, и анализируемый газ начинает истекать через него в атмосферу (режим работы «Анализ»). При этом давление в камере постепенно снижается.

Соответственно уменьшается и электрический сигнал, поступающий от преобразователя давления в устройство сравнения сигналов электронных компараторов верхнего и нижнего значений уровней давления. Сигналы компараторов поступают в устройство обработки и отображения результатов измерения. Когда сигнал на выходе преобразователя давления достигает значения принятого верхнего уровня давления, по сигналу компаратора в устройстве обработки начинается отсчет времени, а когда этот сигнал достигает нижнего уровня давления, отсчет времени прекращается.

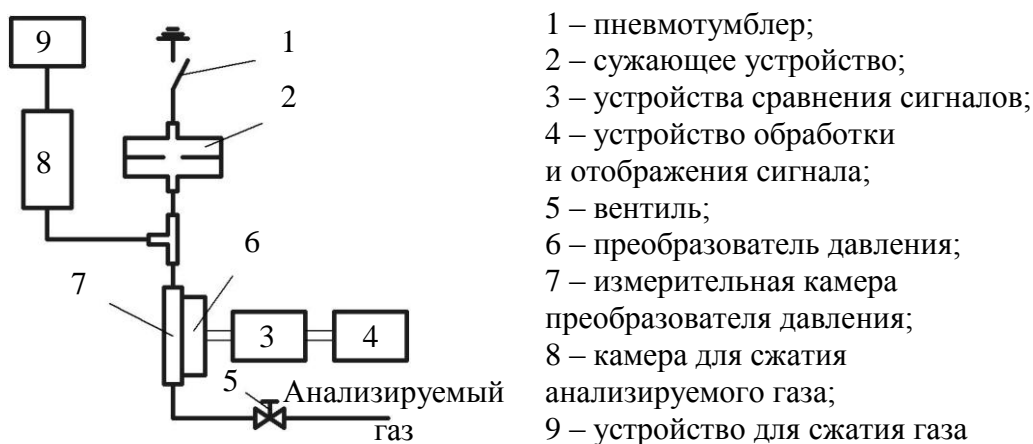


Рис. 4. Схема лабораторного автоматического эффузионного анализатора плотности газов с убывающим давлением

Измерение плотности анализируемого газа как данным анализатором, так и рассмотренными выше приборами, целесообразно осуществлять по отношению к плотности осушенного воздуха. Малая относительная погрешность современных пьезорезистивных преобразователей давления, которая по данным фирм-изготовителей может составлять $\pm 0,05$ – $0,1$ %, позволит при использовании представленной выше схемы эффузионного анализатора обеспечить относительную погрешность измерения плотности газов, равную $\pm 0,1$ %, и поднять лабораторный эффузионный контроль плотности газов на более высокий технический уровень.

Библиографический список

1. Кивилис, С.С. Плотномеры / С.С. Кивилис. М.: Энергия, 1980. 280 с.
2. Кириллин, В.А. Исследования термодинамических свойств веществ / В.А. Кириллин, А.Е. Шейндлин. М.: Госэнергоиздат, 1963. 560 с.
3. Гаузнер, С.И. Измерения массы, объема, плотности / С.И. Гаузнер [и др.]. М.: Изд-во стандартов, 1982. 528 с.
4. Плотников, В.М. Приборы и средства учета природного газа и конденсата / В.М. Плотников, В.А. Подрешетников, Л.И. Тетеревятников. Л.: Недра, 1989. 238 с.
5. Авдива, А.А. Контроль топлива на электростанциях / А.А. Авдива, Б.С. Белосельский, М.И. Краснов. М.: Энергия, 1973. 384 с.
6. Лабораторный анализатор плотности газа: свидетельство РФ на полезную модель № 2653: МПК6 G 01 N 9/32 / Илясов Л.В.; заявитель и патентообладатель Илясов Л.В. № 95107713/20; заявл. 12.05.1995; опубл. 16.08.1996, Бюл. № 8.
7. Отчет по научно-исследовательской работе, выполненной по гранту «Разработка научных основ и создание высокоточных средств измерений плотности газов»: отчет о НИР (заключ.); рук. Л.В. Илясов ; исполн.: О.В. Анкудинова. Тверь, 1997. 26 с. № ГР 01970005357. Инв. № 02980002284.
8. Анализатор плотности газов: пат. 44388 Рос. Федерация: МПК7: G 01 N 9/32/ Илясов Л.В.; заявитель и патентообладатель Илясов Л.В. № 2004131298/22; заявл. 27.10.2004; опубл. 10.03.2005, Бюл. № 7. 2 с.
9. Лабораторные приборы для контроля качества нефти и нефтепродуктов: каталог / soctrade. М.: soctrade, 2008. 148 с.